

ARGAMASSA INDUSTRIAL PARA A REABILITAÇÃO DE REBOCOS ANTIGOS

Andreia Rodrigues^{1*}, Paulina Faria² e Inês Flores-Colen³

1: TOPECA, Lda, 2490-115 Cercal – Ourém
andreia@topeca.com

2: UNIC, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
2829-516 Caparica
paulina.faria@fct.unl.pt

3: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa
ines.flores.colen@ist.utl.pt

Palavras-chave: Argamassa industrial, Reabilitação, Cal aérea, Cal hidráulica.

Resumo. A crescente procura de argamassas técnicas que satisfaçam os requisitos impostos pelos edifícios antigos tem conduzido a indústria das argamassas a desenvolver e apresentar várias soluções para a área da reabilitação. Contudo este trabalho ainda se encontra num patamar em que é importante continuar a aprofundar e sedimentar conhecimentos nesta área. Concretamente o estudo do comportamento de argamassas com materiais mais sustentáveis que possam oferecer ao mercado produtos adequados, compatíveis com os edifícios em questão e economicamente viáveis, tem todo o interesse. Neste sentido, neste trabalho de investigação estudaram-se várias formulações industriais baseadas em cal aérea CL 90-S e em cal hidráulicas natural (NHL5 ou NHL3.5), com base num traço volumétrico 1:3 (ligante: agregado). Partindo de argamassas só de um desses ligantes (aéreo ou hidráulico), procedeu-se a substituições parciais pelo outro ligante, em teores de 25%, 50% e 75%, nas condições de cura preconizadas na norma EN 998-1. Era expectável que a cal hidráulica natural permitisse que as argamassas adquirissem valores de resistências mecânicas mais elevados nas primeiras idades, 28 dias, comparativamente às argamassas de cal aérea, de forma a adequar as características das argamassas aos prazos atuais de obra.

Todas as formulações foram caracterizadas em termos de resistências mecânicas (28, 90 e 180 dias), aderência, massa volúmica, capilaridade e permeabilidade ao vapor de água. Verificou-se que, em termos de comportamento mecânico, algumas das argamassas apresentaram valores satisfatórios. O mesmo se observa em termos de valores de aderência, comparativamente aos requisitos definidos na bibliografia e na norma EN 998-1. No entanto, argamassas com cal hidráulica natural e elevados teores de cal aérea parecem menos interessantes.

Relativamente ao seu comportamento face à água observa-se que todas as formulações apresentam baixos valores de coeficiente de capilaridade e permeabilidade, o que demonstra um bom desempenho, cumprindo plenamente os requisitos impostos.

Considera-se que argamassas de NHL3.5 e baixos teores de cal aérea, a otimizar industrialmente, podem ser particularmente adequadas para aplicação em edifícios antigos.

1. INTRODUÇÃO

A última metade do século XX ficou marcada por uma enorme mudança no setor da construção. Surgiram novos produtos e, aliados a estes, novas técnicas, novos sistemas construtivos e ritmos de trabalho mais exigentes. Efetivamente surgiram prazos para execução das obras mais reduzidos, o que alterou por completo a forma de construir. Este ritmo efêmero conduziu ao uso generalizado de argamassas cimentícias, colocando em desuso a utilização de argamassas de cal e levando ao esquecimento de técnicas e conhecimentos até então utilizados. Foi dado privilégio à construção nova e despromoveu-se a reabilitação e conservação dos edifícios existentes. Todavia, principalmente a partir da década de 80, começou-se a verificar-se uma mudança de mentalidades em Portugal. Tornou-se consensual a necessidade sócio-económica em reabilitar o património edificado, que se degradara devido a abandono, e à inexistência de operações de manutenção e reabilitação [1][2]. Porém, ainda se constata que a reabilitação e as operações de reparação ou conservação avançam a um ritmo muito tímido, registando um crescimento médio anual de 5% [3]. Mediante a situação económica que o país atravessa, mais concretamente a paralisação do mercado da construção nova, segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE) o setor da construção registou, em 2013, “o índice de produção na construção nova de -15% face a -17% registados em 2012” [3]. A Federação Portuguesa da Indústria da Construção (FEPICOP) afirmou que 2013 foi mais um ano de queda “sem precedentes” da procura no sector da construção, que levou a uma redução na produção de 18% nos edifícios residenciais, de 13.8% nos edifícios não residenciais e 14% em obras públicas [3].

O baixo rendimento das famílias e as dificuldades de acesso ao crédito estão a provocar alterações de fundo, levando a que, cada vez mais, se opte pelo arrendamento e não pela aquisição de casa própria.

Todas estas mudanças tornam cada vez mais viável a reabilitação do edificado existente, sendo, portanto, imprescindível recuperar metodologias que permitam a sistematização de conhecimentos ao nível dos produtos e das técnicas de aplicação adequadas à reabilitação. Será possível, assim, combater o elevado estado de degradação de muitos dos edifícios que constituem o parque edificado do país, tornando estes aptos às novas utilizações.

A indústria das argamassas tem vindo a desenvolver e a apresentar ao mercado várias soluções para a área da reabilitação, baseadas em ligantes aéreos, hidráulicos e pozolanas. Contudo é importante continuar a aprofundar e sedimentar conhecimentos nesta área, mais concretamente no estudo do comportamento de materiais mais sustentáveis, de forma a poder oferecer ao mercado produtos adequados, compatíveis com os edifícios em questão e economicamente viáveis.

Este trabalho de investigação teve como objetivo principal estudar várias formulações industriais baseadas em cal aérea e em cals hidráulicas naturais (NHL5 ou NHL3,5) de forma a cumprir com os requisitos impostos pela norma de especificações de argamassas de reboco, EN 998-1 [4]. Foram selecionados estes tipos de ligantes (cal aérea e cals hidráulicas naturais) por serem materiais produzidos e disponíveis em Portugal, potencialmente compatíveis com os suportes de edifícios existentes, tratando-se portanto de materiais mais sustentáveis do ponto de vista técnico e económico.

Várias comunicações da autoria de Veiga [5][6][7][8] têm apresentado os requisitos específicos para as argamassas de substituição. Segundo os investigadores as gamas de valores apresentadas são válidas para a maioria das paredes de alvenaria irregular “ordinária” nacionais. As tabelas 3 e 4 apresentam o conjunto de requisitos e respetivas gamas que, segundo estes investigadores, serão os mais indicados para as argamassas a utilizar na reparação/reabilitação de suportes antigos.

Tendo em consideração a norma harmonizada EN 998-1 [4] e os requisitos apresentados nas tabelas 1 e 2, definiu-se que a classificação que melhor se adaptaria às argamassas a utilizar nesta tipologia de edifícios seria a de argamassas de reabilitação do tipo GP CSI W1, que se

traduz em resistência mecânicas aos 28 dias entre 0,4 MPa e 2,5 MPa, em valores de coeficiente de capilaridade inferiores a $0,4 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ e em valores de coeficiente de permeabilidade inferiores a 15.

Tabela 1. Requisitos definidos para características mecânicas das argamassas de reabilitação (adaptado de [5][8])

Argamassa	Características mecânicas [MPa]			Aderência [MPa]	Comportamento à retração restringida			
	Rt	Rc	Ed		F _{rmáx} [N]	G [N.mm]	CSAF	CREf [mm]
Reboco Exterior	0,20- 0,70	0,40- 2,50	2000-5000	0,1- 0,3 rotura coesiva reboco	<70	>40	>1,5	>0,7
Reboco Interior								

Tabela 2. Requisitos estabelecidos para as características de comportamento à água e às condições climáticas, para as argamassas de substituição (adaptado de [5][8])

Argamassa	Ensaio Clássicos		Ensaio com humidímetro			Envelhecimento artificial acelerado
	Sd [m]	C [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$]	M [h]	S [h]	H [mv.h]	
Reboco Exterior	<0,08	1-1,5	>0,1	<120	<16000	Médio: degradação moderada nos ciclos de água /gelo
Reboco Interior	<0,1	-	-		-	

2. MATERIAS E MÉTODOS

Na campanha experimental que se apresenta as argamassas foram formuladas com cal aérea hidratada H100 (designada por AL) fornecida pela empresa Lusical (Portugal) e cais hidráulicas naturais (NHL5 ou NHL3.5) provenientes da Secil Martingança (Portugal), areias siliciosas lavadas e secas fornecidas pela empresa José Aldeia e Lagoa (Portugal), com a curva granulométrica definida na figura 1, num traço volumétrico 1:3 (ligante: agregado).

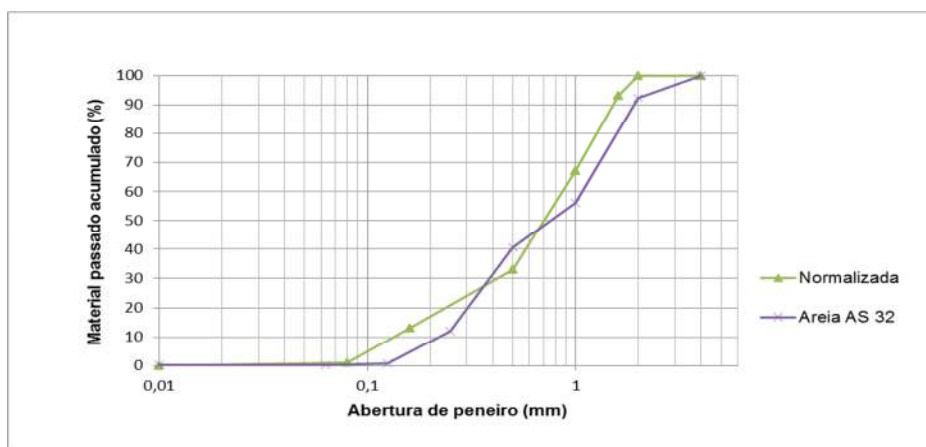


Figura 1. Curva granulométrica do agregado utilizado face à areia CEN normalizada.

Foram também utilizados aditivos específicos para melhorar propriedades como a trabalhabilidade, retenção de água, hidrofugação e aderência, adquiridos em várias empresas sediadas na Europa.

A composição base das argamassas teve como único ligante a cal aérea hidratada ou a cal hidráulica natural, procedendo-se a substituições parciais ponderais de um ligante pelo outro, em teores de 25%, 50% e 75%.

A preparação das argamassas seguiu os procedimentos definidos na EN 1015-2 [9]. Foi adicionada quantidade de água potável ajustada para obter a trabalhabilidade adequada, a este tipo de argamassas.

Começou-se por pesar cada componente da formulação, numa balança com precisão de 0,01g. De seguida procedeu-se à homogeneização de todos os componentes secos sendo posteriormente introduzidos no recipiente da misturadora, onde já se encontrava a quantidade de água adequada. O recipiente foi colocado na respetiva misturadora e procedeu-se à mistura da argamassa. Todas as argamassas seguiram o mesmo método de mistura e compactação.

Foram preparados provetes prismáticos (40x40x160 [mm]) e provetes circulares (15cm de diâmetro e 1,5cm de espessura) para posterior realização da respetiva caracterização mecânica e análise de comportamento à água das argamassas.

Os provetes foram colocados dentro de sacos de polietileno durante 7 dias (2 dias dentro dos moldes até serem desmoldados). Findo deste período os provetes foram colocados numa câmara climática à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ HR (cura *standard*, de acordo com a norma de especificações EN 1015-11 [10] onde permaneceram até à data de realização de cada ensaio.

A designação das argamassas encontra-se na tabela 1. A designação A e B mencionam o tipo de cal hidráulica utilizada (A para a NHL 5, B para a NHL3,5), a numeração (1-5) indica a percentagem de massa de cal hidráulica substituída por massa de cal aérea hidratada. Na tabela 3 estão registados os respetivos traços volumétricos e ponderais e a relação água/ligante.

Tabela 3. Designação das diferentes formulações de argamassa, traços volumétricos e ponderais, relação água/ligante e respetiva massa volúmica do produto em fresco.

Argamassa	Traço Volumétrico	Traço Ponderal	Rel. a/l [-]	Massa volúmica pasta [kg/m ³]
A1 (100%NHL5)	1:3	1:5	0,77	1729,79
A2 (75%NHL5 25%AL)	1:3	1:5	0,85	1883,20
A3 (50%NHL5 50%AL)	1:3	1:5	0,88	1871,08
A4 (25%NHL5 75%AL)	1:3	1:5	0,96	1844,69
A5 (100%AL)	1:3	1:5	0,95	1856,00
B1 (100%NHL3.5)	1:3	1:5	0,80	1794,11
B2 (75%NHL3.5 25%AL)	1:3	1:5	0,81	1831,55
B3 (75%NHL3.5 25%AL)	1:3	1:5	0,85	1950,74
B4 (75%NHL3.5 25%AL)	1:3	1:5	0,86	1913,85

3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL E RESULTADOS

Na formulação de todas as argamassas foi adicionada uma quantidade de água (relação água/ligante) que permitiu obter uma trabalhabilidade considerada como a adequada para aplicação destas argamassas, em contexto real de obra.

Simultaneamente foi determinada a massa volúmica da pasta, ou seja a massa volúmica do produto em estado fresco. Esta é apresentada na tabela 3, verificando-se que variou entre 1729,70 - 1950,74 kg/m³. Constatou-se que as argamassas que apresentam os menores valores de massa volúmica foram as argamassas constituídas exclusivamente por cal hidráulica natural (A1 (NHL5) e B1 (NHL3,5)). Segundo Sequeira et al. [11] as argamassas com baixos valores de massa volúmica no estado fresco promovem uma aplicação mais facilitada, permitindo aplicações em espessuras mais elevadas.

Para a caracterização das argamassas no estado endurecido foram utilizados sempre três provetes, para a cada uma das idades, 28, 90 e 180 dias. Findo o respetivo período de cura foram realizados os seguintes ensaios e determinações: massa volúmica do produto endurecido segundo a EN1015-10 [12]; resistências à tração por flexão (Rt) e à compressão (Rc) de acordo com a norma EN 1015-11 [10]; coeficiente de capilaridade com base na norma EN 1015-18 [13]; aderência segundo a norma EN 1015-12 [14]; permeabilidade ao vapor de água de acordo com a norma EN 1015-19 [15]. A caracterização das argamassas endurecidas considerou sempre os resultados médios dos três provetes.

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos para a caracterização de todas as argamassas no estado endurecido, nomeadamente massa volúmica endurecida, resistências mecânicas e aderência. Relativamente ao ensaio de aderência da argamassa ao tijolo, a não apresentação de resultados deveu-se ao facto de alguns provetes descolarem-se aquando o corte do provete, não permitindo a realização do próprio ensaio.

Tabela 4. Valores médios da massa volúmica do produto endurecido, resistências à tração e à compressão (idades de 28, 90 e 180 dias), aderência aos 28 dias.

Arg.	MVE [kg/m ³]	Resistências mecânicas [MPa]						Aderência [MPa]
		Rt (28d)	Rc (28d)	Rt (90d)	Rc (90 d)	Rt (180d)	Rc (180 d)	
Norma	EN1015-10	EN 1015-11						EN 1015-12
A1	1562,18	0,30	0,40	0,14	0,45	0,28	0,48	0,11-A
A2	1534,13	0,18	0,43	0,15	0,48	0,19	0,38	0,01-A
A3	1611,80	0,16	0,36	0,13	0,32	0,19	0,45	-
A4	1572,39	0,11	0,30	0,13	0,30	0,25	0,43	0,00-A
A5	1542,50	0,22	0,40	0,11	0,46	0,27	0,73	-
B1	1583,50	0,21	0,63	0,21	0,53	0,35	0,73	0,08-A
B2	1587,66	0,19	0,50	0,15	0,38	0,2	0,54	0,00-A
B3	1668,01	-	-	0,16	0,40	0,24	0,52	-
B4	1734,48	-	-	0,14	0,28	0,20	0,32	-

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Características mecânicas

Este estudo foi desenvolvido considerando apenas a cura *standard* (65%HR e 23°C), apesar de vários estudos terem demonstrado existir influência das condições de cura no comportamento das argamassas no seu estado endurecido. Faria et al [16] cita El- Turki *et al* (2007)] que analisou a evolução do comportamento de pastas de cal hidráulica, concluindo que as condições de cura de 65% e 97% de HR interferiram diretamente na velocidade das reações de hidratação comparativamente com as reações de carbonatação, constando que estas reações são fortemente condicionadas pela temperatura e humidade. Também os investigadores Faria et al [16], [20], Bandeiras [17], Grilo et al [18], Valério [19] desenvolveram os seus trabalhos de investigação submetendo as suas argamassas sempre a distintas condições de cura (*standard*, *húmida* e alguns também à cura em *ambiente marítimo*). Todavia, nesta campanha experimental definiu-se submeter os provetes apenas à cura *standard* por serem as condições de cura preconizadas pela norma das argamassas de reboco EN 998-1 [4] e por as condições de cura húmida nem sempre serem fáceis de reproduzir integralmente em contexto real de obra.

As argamassas formuladas foram estudadas em termos de comportamento mecânico, em três idades distintas (28, 90 e 180 dias) com o intuito de verificar a influência da idade no desenvolvimento do seu comportamento mecânico.

Como referido, as argamassas de reboco para edifícios antigos devem apresentar valores de resistências não muito elevados, de forma a evitar o desenvolvimento de tensões que coloquem em causa o sistema revestimento (reboco) + suporte. Assim, definiu-se como gama de valores adequados de resistência à tração por flexão o intervalo de 0,2-0,7MPa e para a resistência à

compressão o intervalo entre 0,4–2,5MPa, que corresponde à classe CSI (0,4-2,5 MPa) apresentada na norma EN 998-1 [4]. As figuras 2 e 3 apresentam os valores de resistência à tração por flexão e resistências à compressão nas idades 28, 90 e 180 dias.

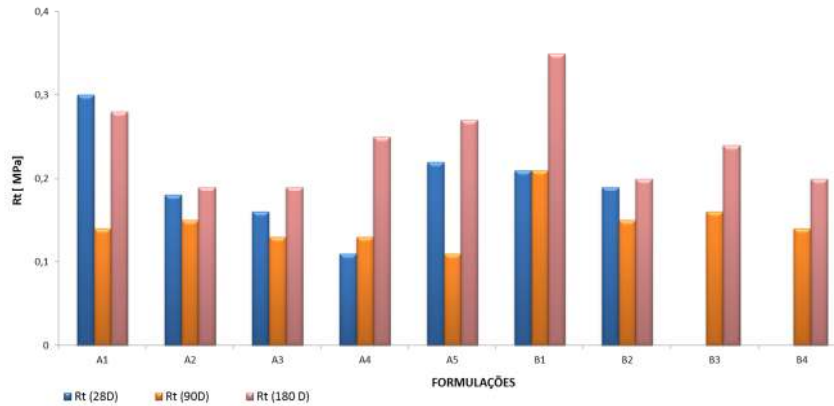


Figura 2. Resistência à tração por flexão das argamassas.

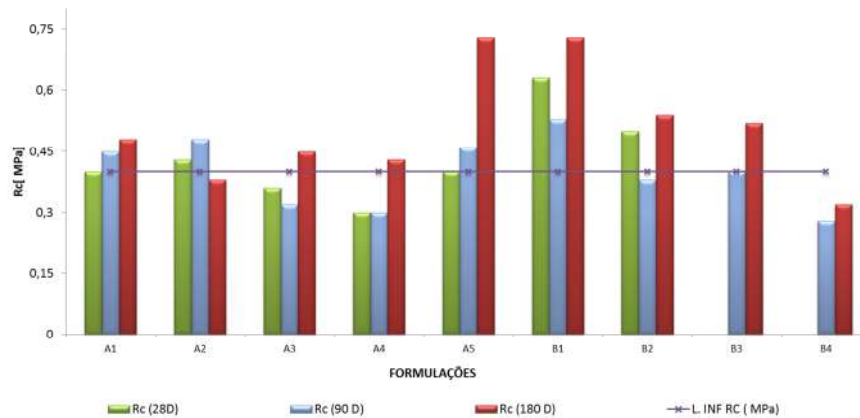


Figura 3. Resistência à compressão das argamassas.

Ao observar a tabela 4 e as figuras 2 e 3, importa analisar em detalhe o desempenho mecânico das argamassas em estudo. Assim observa-se que as argamassas com cal hidráulica NHL3,5 apresentam valores de resistências à tração por flexão e compressão ligeiramente superiores aos registados pelas argamassas formuladas com a cal hidráulica NHL5. A argamassa constituída exclusivamente por cal hidráulica natural NHL3,5 (traço 1:3) regista os melhores valores de resistências mecânicas (Rt e Rc) em todas as idades (28, 90 e 180 dias). O mesmo comportamento foi observado por Faria et al. [16].

As substituições de cal hidráulica natural por cal aérea hidratada conduziram a uma ligeira diminuição dos valores de resistências à tração por flexão e compressão. Com efeito, o acréscimo da substituição dos teores cal hidráulica natural por cal aérea hidratada (de 25% até 75% em massa) dá origem a tendência decrescente no comportamento mecânico destas argamassas. Este decréscimo foi mais acentuado nas formulações cuja taxa de substituição de

massa de cal hidráulica natural por cal aérea foi de 75% em massa (argamassas A4 e B4), ou seja, nas formulações constituídas por 25% cal hidráulica natural e 75% de cal aérea hidratada. Estes resultados foram até inferiores aos resultados evidenciados pela argamassa composta exclusivamente por cal aérea hidratada. O défice de resistências mecânicas (R_t e R_c) demonstrado por estas argamassas (A4 e B4) é também evidente durante a manipulação dos provetes das argamassas, levando a considerar que estas serão inadequadas para aplicação pretendida.

No que respeita à evolução do comportamento mecânico (R_t e R_c) com a idade de cura (entre os 28, os 90 e os 180 dias) pode observar-se que a maioria das argamassas evoluem positivamente com o aumento do período de cura, ou seja, demonstram valores de R_t e R_c aos 180 dias superiores aos obtidos aos 28 dias. Porém esta evolução não é linear para todas as argamassas; por exemplo A3 (50%NHL5+50%AL) e B3 (50%NHL3,5+50%AL) registam valores de R_t e R_c aos 90 dias inferiores aos registados aos 28 dias, voltando a subir aos 180 dias. A argamassa A5, constituída exclusivamente por cal aérea hidratada, com 28 dias apresenta um valor de R_c de 0,40 MPa, valor ligeiramente inferior às argamassas com cal hidráulica natural NHL3,5; porém regista uma tendência crescente, obtendo aos 180 dias valores de R_c de 0,73 MPa iguais à B1 (argamassa só de cal hidráulica natural NHL3,5) e superiores à B2, com 25% de AL (0,54 MPa). De acordo com Gameiro et al. [21] este comportamento é justificado pela evolução da reação de carbonatação. Segundo o estudo realizado por estes investigadores, as argamassas de cal aérea apresentaram picos de calcite e portlandite que aumentam com a idade de cura, dos 28 para os 90 dias, devido à evolução da reação de carbonatação. Grilo [18] demonstrou, no seu trabalho de investigação, que as argamassas com cal hidráulica natural NHL3,5 submetidas à cura *standard* apresentaram uma evolução no seu comportamento mecânico muito ligeiro, justificando que o desenvolvimento das reações de carbonatação e hidratação ocorrem quase na sua totalidade nos primeiros 28 dias. Grilo [18], Gameiro et al. [21] e Grilo et al. [22] concluíram que as condições de cura que promovem melhores comportamentos mecânicos foram as condições de cura com maiores teores de humidade (cura húmida e marítima). Estes investigadores consideram que valores de HR mais elevados favorecem as reações de hidratação nas primeiras idades (28 dias), enquanto em idades mais longas (180 dias) o incremento das resistências mecânicas é associado à evolução das reações de hidratação e carbonatação. Estas têm maior expressão em condições que permitem o acesso à humidade, ou seja, na presença cura húmida. A ausência destas condições, neste desenvolvimento experimental poderá estar na origem da explicação dos relativamente baixos valores de resistências mecânicas obtidos, em todas as idades, para as argamassas em estudo.

A aderência ao suporte foi outra das propriedades mecânicas determinada no decorrer deste trabalho experimental, por ser considerada uma propriedade fundamental na proteção dos suportes. Contudo, dada a dificuldade de reproduzir fielmente um suporte antigo, por estes apresentarem uma enorme heterogeneidade, a aplicação das argamassas foi realizada sobre um suporte de tijolo furado corrente, que se julga não ser o mais indicado para a determinação da tensão de aderência. Desta forma os resultados obtidos foram considerados apenas como valores meramente indicativos. Ao observar a tabela 4 verifica-se que apenas foi possível determinar valores da tensão de aderência em cinco argamassas; as restantes descolaram durante o processo de corte, não permitindo a realização do ensaio. Ao analisar os resultados constata-se que apenas as argamassas constituídas unicamente por cal hidráulica natural (NHL5 e NHL3,5) permitiram obter valores na ordem de 0,1 MPa com rotura coesiva, salientando que apenas a argamassa NHL5 cumpre com o requisito definido na bibliografia (EN 998-1 [4], Santos & Veiga [15]) de 0,1-0,3 MPa com rotura coesiva. As restantes argamassas apresentam uma fraca prestação, comprometendo de alguma forma a sua aplicação sobre suportes antigos. No entanto, considera-se que a realização do ensaio deve ser melhor adaptado para este tipo de argamassas.

4.2 Características físicas

Para determinação das características físicas, mais especificamente do comportamento das argamassas face à ação da água, foram determinados os ensaios de capilaridade (28 e 90 dias) e permeabilidade ao vapor de água (28 dias). Por análise da tabela 5 averigua-se que tanto o coeficiente de capilaridade como o coeficiente de permeabilidade ao vapor cumprem perfeitamente com os requisitos impostos pela bibliografia [4],[15]. Para estas características são valorizados baixos valores de coeficiente de capilaridade (CC) e também baixos valores do coeficiente de permeabilidade ao vapor água.

Na análise dos valores de CC constata-se que todas as argamassas, com exceção da A4 (constituídas unicamente por AL) aos 28 dias obtêm valores de $CC < 0.4 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$, evidenciando que a absorção de água ocorre de uma forma lenta, que é exatamente o que é pretendido para esta tipologia de argamassas industriais, com incorporação de aditivos hidrófugos. Este parâmetro é fundamental para as argamassas de reboco aplicadas no exterior, uma vez que permite prevenir que ocorra absorção de água elevada que possa reduzir a durabilidade da argamassa - associadas aos ciclos de gelo-degelo, solubilização de sais solúveis, de forma a prolongar a sua durabilidade - mas, principalmente, garantir a proteção do suporte onde está aplicada.

Comparando os resultados de CC obtidos nesta investigação com resultados obtidos por outros investigadores [23],[24],[25], constata-se que as argamassas industriais desenvolvidas neste trabalho registaram valores de coeficiente de capilaridade sempre inferiores. O bom desempenho destas argamassas face à presença de água deve-se à incorporação de aditivos hidrófugos.

A variação dos valores do CC dos 28 para os 90 dias apresenta uma tendência decrescente em todas as argamassas, com exceção da argamassa B4 (constituída unicamente por cal hidráulica natural NHL3,5). Esta melhoria deve encontrar explicação no desenvolvimento da microestrutura da argamassa, bem como no funcionamento de um dos aditivos hidrófugos, cuja ação é prolongada no tempo.

Tabela 5. Valores médios do coeficiente de capilaridade (28 e 90 dias) e permeabilidade ao vapor de água aos 28 dias.

Argamassa	Coeficiente capilaridade [kg/(m ² .min ^{0.5})]		Coeficiente de resistência à difusão do vapor de água [μ]
	28 dias	90 dias	
Norma	EN 1015-18		EN 1015-19
A1	0,087	0,067	4,53
A2	0,057	0,048	5,93
A3	0,121	0,010	5,34
A4	0,586	0,103	4,26
A5	0,181	0,012	-
B1	0,048	0,113	-
B2	0,076	0,073	5,84
B3	0,227	0,055	5,75
B4	0,141	0,190	5,34

Quanto ao ensaio de permeabilidade ao vapor de água, as argamassas são consideradas permeáveis ao vapor se apresentarem coeficientes de resistência à difusão do vapor de água inferiores a 15, de acordo com [4], ou seja, são valorizados resultados baixos. Analisando a tabela 5 constata-se que todas as argamassas estudadas registaram valores na ordem dos 5, o que demonstra serem argamassas perfeitamente permeáveis e adequadas para aplicação em edifícios antigos, uma vez que não comprometem o normal funcionamento da parede em termos de trocas gasosas.

5. CONCLUSÕES

Os resultados preliminares obtidos com este desenvolvimento experimental indicam um comportamento promissor das argamassas formuladas com cal hidráulica natural NHL3,5 comparativamente às argamassas formuladas com a cal hidráulica natural NHL5.

A substituição parcial de cal hidráulica por cal aérea hidratada, tal como seria expectável, não mostrou ser benéfica em termos de comportamento mecânico, em nenhuma das idades estudadas (28, 90 e 180 dias). É de salientar que o aumento na taxa de substituição mássica de cal hidráulica (NHL5 e NHL3,5) por cal aérea é acompanhado por uma tendência decrescente de resistências mecânicas, obtendo-se argamassas com fracos desempenho do ponto de vista mecânico, o que poderá comprometer a suas prestações na aplicação como argamassas para reabilitação, mesmo de edifícios antigos. Era expectável que as formulações com maiores concentrações de cal aérea (25% cal hidráulica natural e 75 % de cal aérea) registassem uma evolução com tendência crescente de resistências mecânicas, para idades mais longas. Assim, era esperado que as argamassas A4 e B4 alcançassem valores de R_c aos 180 dias próximos dos resultados obtidos com a argamassa A5 (só de cal aérea), por acreditar que a evolução das reações de carbonatação se desenvolvessem com a maturação das argamassas. Porém, não foi observado este progresso, constatando-se que estas argamassas registaram os resultados mais baixos de resistências mecânicas (R_t e R_c), não sendo adequadas para a aplicação em causa. Considera-se assim que as formulações mistas de cal hidráulica natural e aérea só poderão ter interesse quando se pretendem argamassas com baixas resistências mecânicas mas para aplicação em situações em que se pretendem curas rápidas, mesmo com fraco contacto com dióxido de carbono ou muito elevada HR.

Relativamente às condições de cura utilizadas neste desenvolvimento experimental, preconizadas pela norma EN 1015-11 [10], conclui-se poderem não ser as mais indicadas, uma vez que não conferem condições essenciais para o desenvolvimento de uma microestrutura coesa e resistente. Com base nestes resultados e na análise bibliográfica efetuada, onde se constatou que a cura húmida é, nalguns casos, mais promissora que a cura *standard*, julga-se que seria muito pertinente fazer uma avaliação relativamente às condições de cura preconizadas por esta norma, uma vez que a indústria para caracterizar os seus produtos terá obrigatoriamente cingir-se à realização de ensaios seguindo os procedimentos definidos em normas. No entanto, também se admite a definição das condições presentes por poderem ser mais aproximadas das que é possível garantir *in situ*.

Do ponto de vista de comportamento mecânico (28, 90 e 90 dias) conclui-se que a generalidade das composições estudadas apresentam valores relativamente baixos, porém satisfatórios. No entanto realça-se o desempenho das composições A1 (100% NHL5), A5 (100% AL), B1 (100%NHL3,5) e B2 (75%NHL3,5+25%AL) por registarem valores de R_t , R_c que se encontram dentro dos intervalos definidos como adequados para este tipo de argamassas de substituição. Relativamente aos resultados de aderência verifica-se que estes são baixos para todas as argamassas estudadas. Porém é de realçar que o método e o tipo de suporte utilizados para a determinação destes resultados poderá não ser o mais adequado para o tipo de argamassas em estudo. Considera-se que seria importante a comunidade técnica refletir sobre a forma como este ensaio é realizado, uma vez que os resultados obtidos não demonstram ser muito fidedignos para o estudo da aderência de argamassas em suportes de edifícios antigos.

Relativamente ao comportamento destas argamassas face à ação da água conclui-se que todas as composições reúnem valores de CC (28 e 90 dias) e coeficientes de permeabilidade ao vapor que satisfazem perfeitamente as exigências definidas na bibliografia, evidenciando, desta forma, o seu bom desempenho e, conseqüentemente, a sua adequabilidade para aplicação no exterior.

Assim, com base no estudo desenvolvido pode-se concluir que as composições B1 (100%NHL3,5) e B2 (75%NHL3,5+25%AL) formuladas com cal hidráulica NHL3,5 e cal aérea são adequadas para serem utilizadas com argamassas de substituição em trabalhos de reabilitação de edifícios antigos. Contudo, o estudo deve ser continuado com o objetivo de melhorar algumas

das características, nomeadamente resistências mecânicas e aderências.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Aguiar, A. Cabrita, J. Appleton, “Guião de apoio à reabilitação de edifícios habitacionais”, Vol. I, Lisboa, LNEC, 2004.
- [2] S. Martins, “Patologias e Reabilitação dos Revestimentos de Fachadas, o Caso da Alta de Coimbra”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2008.
- [3] www.fepicop.com, acedido em fevereiro de 2014.
- [4] CEN, EN 998-1:2010, Specification for mortar for masonry. Part 1: Rendering and plastering mortar, Brussels.
- [5] M.R. Veiga, “Argamassa para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes”, in 3º *ENCORE*, LNEC, Lisboa, 2003.
- [6] M.R. Veiga, “Intervenções em revestimentos antigos: Conservar, substituir ou ...destruir”, in 2º *PATORREB, Congresso de Patologia e Reabilitação de Edifícios*, 2006.
- [7] M. Menezes, M. Veiga, “Uso de materiais tradicionais em revestimentos exteriores e sustentabilidade: representações e práticas sociais”, in *Jornadas do LNEC “Cidades e Desenvolvimento”*, Lisboa, LNEC, 2012.
- [8] A. Santos, M.R. Veiga, “Argamassas compatíveis para edifícios antigos”, in *Jornadas do LNEC. “Cidades e Desenvolvimento”*, Lisboa, LNEC, 2012.
- [9] CEN, EN 1015-2: 1999, Methods of test for mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortar, Brussels.
- [10] CEN, EN 1015-11: 1999, Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, Brussels.
- [11] C. Sequeira, D. Frade, P. Gonçalves, “Análise de diferentes ligantes na formulação de argamassas industriais de reabilitação”, in 4º *Congresso Nacional de Argamassas de Construção*, 2012 (CD).
- [12] CEN, EN 1015-10: 2002, Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened rendering mortar, Brussels.
- [13] CEN, EN 1015-18: 2002, Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened rendering mortar, Brussels.
- [14] CEN, EN 1015-12: 2000, Methods of test for mortar for masonry - Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortar on substrates, Brussels.
- [15] IPQ, NP EN 1015-19: 2008, Métodos e ensaios para alvenarias - Parte 19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas, Caparica.
- [16] P. Faria, V. Silva, J. Carneiro, T. Branco, D. Mergulhão, R. Antunes, “Argamassas compatíveis com alvenarias históricas com base em cal hidráulica natural”, in *CIRea 2012 - Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria*, 2012, pp. 28-38.
- [17] J. Bandeira, “Caracterização de argamassas de cal aérea e de cal hidráulica natural com metacaulino - Evolução com a idade”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- [18] J. Grilo, “Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural NHL 3.5 de Fabrico Nacional” Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2013.

- [19] J. Valério, "Argamassas de cal hidráulica natural NHL 3.5. Influência do traço, do metacaulino e da cura" *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2013.
- [20] P. Faria, V. Silva, "Natural hydraulic lime mortars. Influence of the aggregates", *HMC2013, 3rd Historic Mortars Conference*, Glasgow, Scotland, 2013 (CD).
- [21] A. Gameiro; A. Silva; P. Faria; J. Grilo; T. Branco; R. Veiga; A. Velosa, "Physical and chemical assessment of lime-metakaolin mortars: Influence of binder:aggregate ratios", *Cement & Concrete Composites*, vol. 45, pp. 264-271, 2014.
- [22] J. Grilo, A. Santos-Silva, P. Faria, A. Gameiro, R. Veiga, A. Velosa, "Mechanical and mineralogical properties of natural hydraulic lime-metakaolin mortars in different curing conditions", *Construction and Building Materials*, vol. 51, pp. 287-294, 2014.
- [23] T. Fontes, P. Faria, V. Silva, "Caracterização de argamassa de cal hidráulica natural com metacaulino e resíduo cerâmico", in *Congresso Construção 2012*, 2012 (CD).
- [24] E. Ferraz, S. Andrejkovicova, A. Velosa, F. Rocha, "Incorporação de vermiculite expandida em argamassas de cal e metacaulino: Resultados preliminares", in *Congresso Construção 2012*, 2012 (CD).
- [25] J. Grilo, P. Faria, R. Veiga, A. Santos-Silva, V. Silva, A. Velosa, "New natural hydraulic lime mortars - Physical and microstructural properties in different curing conditions", *Construction and Building Materials*, vol. 54, pp. 378-384, 2014.